



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 196 11 538 C 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 05 H 1/46**  
H 01 J 37/32  
C 23 C 14/22  
C 23 C 16/44  
// H01L 39/24

⑳ Aktenzeichen: 196 11 538.8-52  
㉔ Anmeldetag: 23. 3. 96  
㉕ Offenlegungstag: —  
㉖ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 21. 8. 97

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉗ **Patentinhaber:**  
Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,  
DE

㉘ **Erfinder:**  
Füßer, Hans-Jürgen, Dipl.-Phys. Dr., 89547  
Gerstetten, DE; Reiß, Hans, 89081 Ulm, DE; Ritzi,  
Thomas, 89134 Blaustein, DE

⑤⑥ **Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:**  
US 53 11 103  
EP 03 15 986 B1  
Jap.J.Appl.Phys., Bd. 27 (11), 1988, S. L2075-2077;  
Jap.J.Appl.Phys., Bd. 28 (4), 1989, S. L635-L638;

⑤④ **Vorrichtung zur Beschichtung von Substraten unter Zuhilfenahme einer filamentlosen Ionenquelle**

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Beschichtung von Substraten unter Zuhilfenahme einer filamentlosen Ionenquelle. Die Vorrichtung weist einen Mikrowellengenerator, einen Mikrowellen-Hohlleiter, einen im Bereich des Hohlraumresonators angeordneten Quarzdom, mit innenseitig angeordneter Plasmakammer, eine Gaszufuhr für die Plasmakammer, und einem das Substrat aufnehmenden und mit der Plasmakammer fluidisch verbundenen Reaktor auf, wobei zwischen dem Reaktorinnen und der Plasmakammer eine Lochblende druckmindernd angeordnet ist. Zur Verbesserung des Gaseinlasses weist der Quarzdom einen am Mantel des Quarzdoms angeordneten und randseitig nach außen abragenden Flansch auf, der mit einer seiner axial vom Innern wegweisenden Flachseite axial zu einer Dichtung anliegt und über dessen Rückseite mittels einer Spann- und/oder Pratzvorrichtung eine die Dichtwirkung erhöhende Axialkraft ausübbar ist.

**DE 196 11 538 C 1**

**DE 196 11 538 C 1**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Beschichtung von Substraten unter Zuhilfenahme einer filamentlosen Ionenquelle, wie sie aus der EP 315 986 B oder der US 5,311,103 als bekannt hervorgeht.

Aus der EP 315 986 B ist eine filamentlose Ionenquelle bekannt, die als ECR-Quelle ausgebildet ist und die zur Erzeugung eines Plasmas durch Einwirken einer Mikrowellenstrahlung und eines Magnetfeldes auf einen Gasraum mit Unterdruck dient. Die Zyklotron-Resonanzbedingung ergibt ein Magnetfeld von 845 Gauss für 2,45 GHz Mikrowellenfrequenz.

Das Plasma enthält eine Vielzahl von ionisierten Teilchen und Radikalen mit niedriger kinetischer Energie, die bevorzugt für physikalische und physikalisch-chemische Ätzprozesse eingesetzt werden können. Die Teilchen können als Plasmastrom oder mittels angelegter elektrischer Potentiale als Ionenstrahl die Plasmakammer verlassen.

Die Ätzprozesse werden typischerweise im Reaktor bei Drücken von oberhalb  $10^{-2}$  Pa Gasdruck durchgeführt. Unterhalb dieses Druckes zündet das Plasma nicht, bzw. kann nicht aufrechterhalten werden. Zwischen Quelle und Reaktor herrscht typischerweise keine Druckdifferenz.

Die Art und die Vielzahl der angeregten Teilchen im Plasma erlaubt jedoch auch den Einsatz der reaktiven geladenen und ungeladenen Teilchen bei reaktiven Beschichtungsprozessen, beispielsweise zur Abscheidung von Oxiden oder Nitriden.

Ein spezielles Einsatzgebiet ist hier die Vakuumbeschichtung von Hochtemperatur-Supraleitern. Diese supraleitenden Oxide müssen während der Abscheidung oxidiert werden, wobei speziell das Kupfer in einen bestimmten Oxidationszustand überführt werden muß, der bei den Aufdampfprozessen mit molekularem Sauerstoff aus thermodynamischen Gründen nicht erreichbar ist.

Hier werden erfolgreich reaktive Sauerstoff-Spezies wie Ozon verwendet; auch werden ECR-Quellen als Plasmalieferanten eingesetzt. Zwei solcher Verfahren sind z. B. 1989 von T. Aida et al. im Jap. J. Appl. Phys., Band 28 (4), Seite L635—L638, oder 1988 von K. Morikawa et al. in Jap. J. Appl. Phys., Band 27 (11), Seite L2075—2077, beschrieben.

Die üblicherweise eingesetzten ECR-Ionenquellen sind für den Einsatz bei Ätzprozessen im höheren Druckbereich oberhalb von  $10^{-2}$  Pa konzipiert. Um den obigen Beschichtungsprozeß durchführen zu können, sind daher aufwendige und teure differentielle Pumpsysteme notwendig, damit der für den Betrieb der ECR-Quelle notwendige Druck in der Plasmakammer von oberhalb  $10^{-2}$  Pa und der gleichzeitig im Reaktor maximal zulässige Druck von deutlich unterhalb  $10^{-2}$  Pa gehalten werden kann.

Dabei ist zur Beschichtung von technisch relevanten Substratgrößen ( $< 3''$ ) und beispielsweise zur Durchführung von Molekularstrahl-Epitaxieverfahren (MBE) ein großer Abstand (z. B.  $> 50$  cm) zwischen Materialquellen und Schichtträger wegen der homogenen Abscheidebedingungen wünschenswert.

Solche differentiellen Pumpsysteme oder andere Lösungen wie "Plasmaduschen" oder "Sauerstoffduschen" in der Nähe des zu beschichtenden Substrates stellen Hindernisse bei der Prozeßentwicklung für den industriellen Einsatz der so hergestellten Dünnschichten dar, da sie z. B. wegen undefinierter und inhomogener Strö-

mungsverhältnisse schlecht reproduzierbar und für technische Substratgrößen nicht auslegbar sind.

Der Einsatz einer filamentlosen Ionenquelle, wie in der EP 315 986, ist vorteilhaft für diese Art von Beschichtungsprozessen, kann aber nicht unmittelbar ohne Modifikationen solcher Quellen durchgeführt werden. Die Vorrichtung der gattungsbildenden Schrift zeigt hierzu einen aus Quarzglas gebildete Plasmakammer — Quarzdom —, wobei quarzdomnah ein Gaseinlaßkanal integriert ist.

Der Quarzdom wird mittels einer flexiblen Gummidichtung am Außenrand des Quarzdoms vakuumdicht abgedichtet, so daß sich der Innenteil des Quarzdoms im Vakuum befindet. Bei höheren Mikrowellenleistungen, z. B. zwischen 300 — 500 Watt, neigt die Dichtung zum Schmelzen ( $T > 150^{\circ}\text{C}$ ) mit der Folge, daß das Vakuum zusammenbricht. Eine Erwärmung der Dichtung wird zum einen durch Wärmetransport durch die Wandung des Quarzdoms hindurch bewirkt; zum anderen kann das Mikrowellenfeld auch direkt auf die Dichtung einwirken und zu deren Erwärmung beitragen. Die Ausformung des Quarzdoms erlaubt keine andere Dichtungsmöglichkeit, da wegen Bruchgefahr keine mechanische Beanspruchung auf den Quarzdom wirken darf und daher metallische Vakuumdichtungen, die höhere Temperaturen ertragen, ausscheiden.

Der Quarzdom ist zum Reaktor hin offen, so daß keine Druckdifferenz zwischen Plasmakammer und Reaktor vorhanden ist. Das Einbringen von Lochblenden oder Rohren für eine erwünschte stabile Druckdifferenz zwischen Quarzdom und Reaktor wird dadurch erschwert, daß der Gaszufuhrkanal zum Reaktor hin nicht gasdicht abschließbar ist. Daher kann bei einer solchen Montageart ein großer Teil des Gases an der eigentlichen Druckstufe vorbei in den Reaktor strömen, ohne durch den Quarzdom und damit in die Plasmazone zu gelangen. Dies verschlechtert die Druckstufe bis zur Wirkungslosigkeit.

Aus der US 5,311,103 ist eine Vorrichtung zur Beschichtung von Substraten bekannt, die einen Mikrowellengenerator und einen Mikrowellenleiter aufweist, der vom Mikrowellengenerator kommende Mikrowellen einem Hohlraumresonator zuleitet. Desweiteren ist im Bereich des Hohlraumresonators ein Quarzdom angeordnet, der eine innenseitige Plasmakammer aufweist. Weiterhin weist die Vorrichtung eine Gaszufuhr für ein in die Plasmakammer einströmendes Gas auf, das in der Plasmakammer gezündet wird und das nach der Zündung das Plasma bildet. Die Plasmakammer ist über eine druckmindernde Lochblende mit dem Reaktorinneren eines Reaktors verbunden, in welchem das zu beschichtende Substrat angeordnet wird. Der Reaktor ist randseitig dichtend mit dem Quarzdom verbunden ist. Zur Abdichtung ist am Mantel des Quarzdoms ein randseitig abragender Flansch angeordnet, an dem eine Dichtung anliegt.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, die vorbekannte Vorrichtung dahingehend weiterzuentwickeln, daß sie ohne differentielles Pumpsystem für insbesondere reaktive Beschichtungsverfahren einsetzbar ist.

Die Aufgabe wird bei einer zugrundegelegten Vorrichtung durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Durch die erfindungsgemäße Art der Ausbildung des Quarzdoms mit einem nach außen abragenden und Dichtzwecken dienenden Flansch kann der Quarzdom gegenüber dem Reaktorgehäuse zuverlässig abgedichtet werden. Von besonderem Vorteil ist hierbei, daß durch diese abdichtende Maßnahme gleichzei-

tig auch der sich innenseitig des Quarzdoms befindlichen Plasmakammer gegenüber den Reaktorinneren wirkungsvoll mittels Lochblenden druckmindernd abgeschirmt werden kann, wodurch die gewünschten, insbesondere reaktiven Beschichtungsverfahren erst ermöglicht sind.

Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind den Unteransprüchen entnehmbar. Im übrigen wird die Erfindung anhand von in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen erläutert. Dabei zeigt

Fig. 1 einen Einbau und Dichtung des Quarzdoms zwischen einem Mikrowellen-Hohlleiter einer ECR-Quelle und einem Reaktor,

Fig. 2 eine Ausschnittsvergrößerung durch den Rand einer Dichtung gemäß Fig. 1,

Fig. 3 einen Axialschnitt durch einen Haltering gemäß Fig. 1,

Fig. 4 eine zweiteilige Ausführung eines Quarzdoms und einer Druckstufe und

Fig. 5 eine einteilige Ausführung eines Quarzdoms und einer Druckstufe mit asymmetrischer Gaseinleitung in die Plasmakammer.

In Fig. 1 ist eine Vorrichtung zur Beschichtung von Substraten 22 unter Zuhilfenahme einer filamentlosen Ionenquelle dargestellt. Die Vorrichtung weist einen Mikrowellengenerator (nicht dargestellt) auf. Der Mikrowellengenerator ist mit einem Mikrowellen-Hohlleiter 14 verbunden, mittels dem vom Mikrowellengenerator kommende Mikrowellen einem Hohlraumresonator zugeleitet werden. Im Bereich des Hohlraumresonators ist ein Quarzdom 1 angeordnet, der eine innenseitig angeordnete Plasmakammer 16 aufweist. Die Plasmakammer 16 ist mit einer Gaszuführung 18 verbunden, mittels der ein Gas in die Plasmakammer 16 einbringbar ist. In der Plasmakammer 16 wird das Gas unter Zuhilfenahme der Mikrowellen gezündet und das Plasma ausgebildet. Unterhalb des Quarzdoms 1 ist ein Reaktor 13 angeordnet, in dessen Reaktorinneren 17 das zu beschichtende Substrat 22 anordenbar ist. Die Plasmakammer 16 ist mit dem Reaktorinneren 17 über eine in Richtung des Reaktorinneren 17 druckmindernd wirksame und an einem Haltering 23 angeordnete Lochblende 15 fluidisch verbunden.

Der Quarzdom 1 weist einem am Mantel des Quarzdoms 1 angeordneten und randseitig nach außen abragenden Flansch 4 auf. Der Flansch 4 liegt mit seiner axial vom Innern wegweisenden Flachseite, im folgenden Rückseite 5 genannt, axial an einem Dichtring 7 an. Durch diese Konstruktion kann über die Rückseite 5 des Flansches 4 mittels einer Spann- und/oder Pratzvorrichtung eine die Dichtwirkung erhöhende Axialkraft ausgeübt werden, so daß durch den Flansch 4 eine belastungsarme Dichtungsmöglichkeit des Quarzdoms 1 ermöglicht ist.

Der Quarzdom 1 wird an seinen beiden Flachseiten des Flansches 4 durch flexible Dichtungen, z. B. aus einem Fluorelastomer auf der Basis von Vinyliden-Fluorid-Hexafluorpropylen-Copolymerisaten — bekannt unter dem Warenzeichen "Viton" oder metallische Helicoflexdichtungen, vakuumdicht abgedichtet. Hierzu werden an die beiden sich axial gegenüberliegenden Flachseiten des Flansches 4 von oben, also reaktorseitig betrachtet von der Rückseite 5, und von unten, also reaktorseitig betrachtet von der Vorderseite 9, zwei Formringe 6 und 10 dichtend angelegt.

Der obere, also reaktorseitig rückwärtige Formring 6 weist axial ausgerichtete Öffnungen 11 auf, durch welche Schrauben hindurchführbar sind. Die Schrauben

greifen in Gewindelöcher 12 ein, die in dem den zweiten, vorderseitigen Formring 10, welcher einteilig mit dem Gehäuse des Reaktors 13 verbunden ist, ein. Der rückseitige, obere Formring 6 ist in diesem Ausführungsbeispiel einteilig mit dem Mikrowellen-Hohlleiter 14 der ECR-Quelle (nicht dargestellt) verbunden.

Für eine gute Fixierung des Quarzdoms 1 ist es hierbei sinnvoll, den einteilig mit dem Quarzdom 1 verbundene Flansch 4 mit Bohrungen zu versehen, die gleichfalls von den Schrauben durchdrungen werden. Die beiden Formringe 6 und 10 weisen auf ihren dem Flansch 4 zuweisenden Flachseiten axial verlaufende Zirkularnuten 8 auf, in denen Dichtringe 7, insbesondere aus "VITON" angeordnet sind.

Vorteilhafterweise schirmen hierbei die metallischen Aufnahmebereiche der beiden Formringe 6 und 10 Material der Dichtringe 7 größtenteils gegen die Mikrowelleneinstrahlung ab, wodurch auch die thermische Belastung der Dichtringe 7 vermindert ist.

Als Druckstufe zum Reaktorinneren 17 und damit zur eigentlichen Beschichtungskammer ist eine scheibenförmige Lochblende 15 eingeführt, die kleine Gasöffnungen aufweist. Die Gasöffnungen sind insbesondere im Bereich der Mitte angeordnet und aufgrund der Leitwertverengung für die Druckdifferenz zwischen der Plasmakammer 16 und dem Reaktorinneren 17, also der eigentlichen Beschichtungskammer, verantwortlich. Die Lochblende 15 kann je nach Anforderung an die Druckdifferenz gewählt werden und ist gegen andere Lochblenden 15 mit anderen Öffnungsgrößen der Gasöffnungen austauschbar. Das für die Erzeugung des Plasmas und ebenso für die Beschichtung benötigte Gas strömt durch eine Gaszuführung 18 in den Quarzdom 1 ein, gelangt als Plasma über die Gasöffnungen in das Reaktorinnere 17 und wird über das Reaktorinnere 17 abgepumpt.

Eine Ausschnittsvergrößerung der randseitigen Ausbildung der Vorrichtung im Bereich der Lochblende 15 ist in Fig. 2 dargestellt. Die Lochblende 15 ist vorteilhafterweise aus Quarz oder ähnlichem Material; um eine Plasmakontamination durch Verunreinigungen zu vermeiden. Um die Lochblende 15 gasdicht über dem Quarzdom 1 anzuordnen, wodurch das Gas nur durch eine mittlere Gasöffnung in das Reaktorinnere 17 eintreten kann, wird die Lochblende 15 auf einen Haltering 23 aufgeschraubt, der dem vorderseitigen Formring 10 zugeordnet ist. Die Befestigungsschrauben sind äquidistant z. B. im Abstand von 60°, auf dem Formring 10 angeordnet. Die Lochblende 15 fluchtet mit der reaktorseitigen Oberkante des vorderseitigen Formrings 10.

Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 ist der Haltering 21 aus Metall, insbesondere aus Edelstahl gefertigt und weist eine Gaszuführung 18 (gestrichelt dargestellt) in den Quarzdom 1 auf. Am Außenrand ist der Haltering 21 mit senkrechten Bohrungen versehen, die zum Befestigen des Halterings 21 dienen und die um 30° zueinander versetzt sind.

Der vorderseitige Formring 10 ist mit einem flexiblen Dichtring 7, der in einer Zirkularnut 8 angeordnet ist, quarzdomseitig dichtend montiert. An dem vorderseitigen Formring 10, der einteilig mit dem Gehäuse des Reaktors 13 verbunden ist, ist der Haltering 21 montiert, der gleichfalls über einen in einer weiteren Zirkularnut 8 angeordneten Dichtring 7 gegenüber der Plasmakammer 16 abgedichtet ist.

In Fig. 3 ist ein Querschnitt des Halterings 21 dargestellt. Das zur Bildung des Plasmas und für die Beschichtung benötigte Gas wird in ein Rohr 19 eingeleitet, das

auf den Haltering 21 aufgeschweißt ist. Die Gaszufuhr kann dann über eine übliche flexible Metalleitung .ä. mittels üblicher vakuumdichter Verschraubungen (VCR, Swagelock o. ä.) an das als Gaszufuhr ausgebildete Rohr 19 angekoppelt werden. Dies hat den Vorteil großer Flexibilität beim Gasanschluß.

Die gestrichelt dargestellte Gasführung 18 ist in dem Haltering 23 wie folgt ausgebildet. Unter dem angeschweißten Rohr 19 ist ein Eintrittskanal senkrecht in den Haltering 21 gebohrt, der in einen waagerechten Kanal mündet. Der waagerechte Kanal wird zwischen zwei Bohrungen angeordnet, wobei die am Außenrand angeordnete Bohrung mit einem Stopfen vakuumdicht zugeschweißt ist. Der waagerechte Kanal mündet in eine schmale und tiefe Nut an der Unterseite des Halterings 21, der zur Plasmakammer 16 hin offen ist.

Um Kontaminationen des Plasmas zu vermeiden, sollte der Bereich um den Quarzdom 1 vorteilhafterweise vollständig aus Quarz oder ähnlichem Isolatormaterial gearbeitet sein.

In den Fig. 4 und 5 sind weitere Ausführungsbeispiele dargestellt, die erheblich kompakter sind und bei denen das Plasma weitestgehend von Wandkontaminationen abgeschirmt ist. Zur Vermeidung von unnötigen Wiederholungen sind in den Fig. 4 und 5 nur die wesentlichen Teile von Quarzdom 2 bzw. 3 und als Lochblenden 15 ausgeführte Druckstufen dargestellt, da sich diese Teile an beliebige Vakuum-Rezipientenausführungen anpassen lassen. Prinzipiell läßt sich auch eine Wasserkühlung (nicht dargestellt) direkt in einen quarzdomnahen Flansch mittels Kühlschlangen oder Einstichen integrieren, so daß auch bei höheren Mikrowellenleistungen für eine ausreichende Kühlung der flexiblen Dichtungen gesorgt ist.

Der Aufbau des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 4 ist wie folgt. Quarzdom 2 und Lochblende 15 sind aus zwei Teilen gefertigt; die Lochblende 15 ist eine Scheibe mit einem an der Unterseite angeordneten Zwischenstück 20. Die axiale Höhe des Zwischenstücks 20 ist so gewählt, daß beim Abdichten und Zusammenfügen der Lochblende 15 und des Quarzdoms 2 ein schmaler Spalt zum Flansch des Quarzdoms 2 bleibt, der dann zur Gas-einleitung in die Plasmakammer 16 dient.

In das Zwischenstück 20 ist die Gaszuführung 18 integriert; der Anschluß an die Gasversorgung (nicht dargestellt) kann auf den üblichen Wegen über Verschraubungen etc. erfolgen. Diese Variante eignet sich für Aufbauten, bei der die Lochblende 15 nicht mehr verändert wird.

Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5 zeigt eine vereinfachte Version eines Quarzdoms 3 und einer Lochblende 15, die hier einteilig ausgeführt sind. Der Quarzdom 3 ist mit einem gleichzeitig die Lochblende 15 der Druckstufe bildenden Deckel versehen, der mit dem Quarzdom 3 verschweißt ist. Wie schon zuvor kann an die Lochblende 15 noch ein Rohr 19 angeschweißt sein. Die Gaszufuhr kann über einen angeglasten Gasanschluß erfolgen und ist asymmetrisch zur Plasmakammer 16 angeordnet.

resonator zuleitenden Mikrowellen-Hohlleiter (14),

— des weiteren mit einem im Bereich des Hohlraumresonators angeordneten Quarzdom (1), der eine innenseitig angeordnete Plasmakammer (16) aufweist und der ferner einen an seinem Mantel angeordneten, randseitig nach außen abragenden Flansch (4) aufweist,

— weiterhin mit einer Gaszuführung (18) für die Plasmakammer (16) zur Zuführung eines mittels der Mikrowellen gezündeten und das Plasma bildenden Gases, und

— ferner mit einem das Substrat (22) aufnehmenden und mit der Plasmakammer (16) fluidisch verbundenen Reaktor (13), der randseitig dichtend mit dem Quarzdom (1) verbunden ist, wobei zwischen dem Reaktorinnern (17) und der Plasmakammer (16) eine Lochblende (15) druckmindernd angeordnet ist,

— des weiteren mit einer Spann- und Pratzvorrichtung, mittels der über die Rückseite (5) der Flachseiten des Flansches (4) eine die Dichtwirkung erhöhende Axialkraft ausübbar ist,

— wobei die Spannvorrichtung durch einen Formring (6) gebildet ist,

— der zumindest mittelbar dichtend am Flansch (4) anliegt,

— der an die Rückseite (5) des Flansches (4) formangepaßt ist und

— der auf der radial außen liegenden Seite höhengleich wie die Rückseite (5) des Flansches (4) nach Art einer Pratte fest abgestützt ist, und

— wobei der Flansch (4) mit seiner axial vom Innern wegweisenden Flachseite axial zu einer als Dichtring (7) ausgebildeten Dichtung anliegt, die zwischen der Flachseite und einer an dieser Axialfläche dichtend anliegenden Fläche in einer axialen Zirkularnut (8) angeordnet ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Dichtring (7) aus einem Fluorelastomer auf der Basis von Vinyliden-Fluorid-Hexafluorpropylen-Copolymerisaten gebildet ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Beschichtung von Substraten (22) unter Zuhilfenahme einer filamentlosen Ionenquelle,

- mit einem Mikrowellengenerator,
- ferner mit einem vom Mikrowellengenerator kommenden Mikrowellenstrahl in einem Hohlraum-

- Leerseite -

Fig. 1

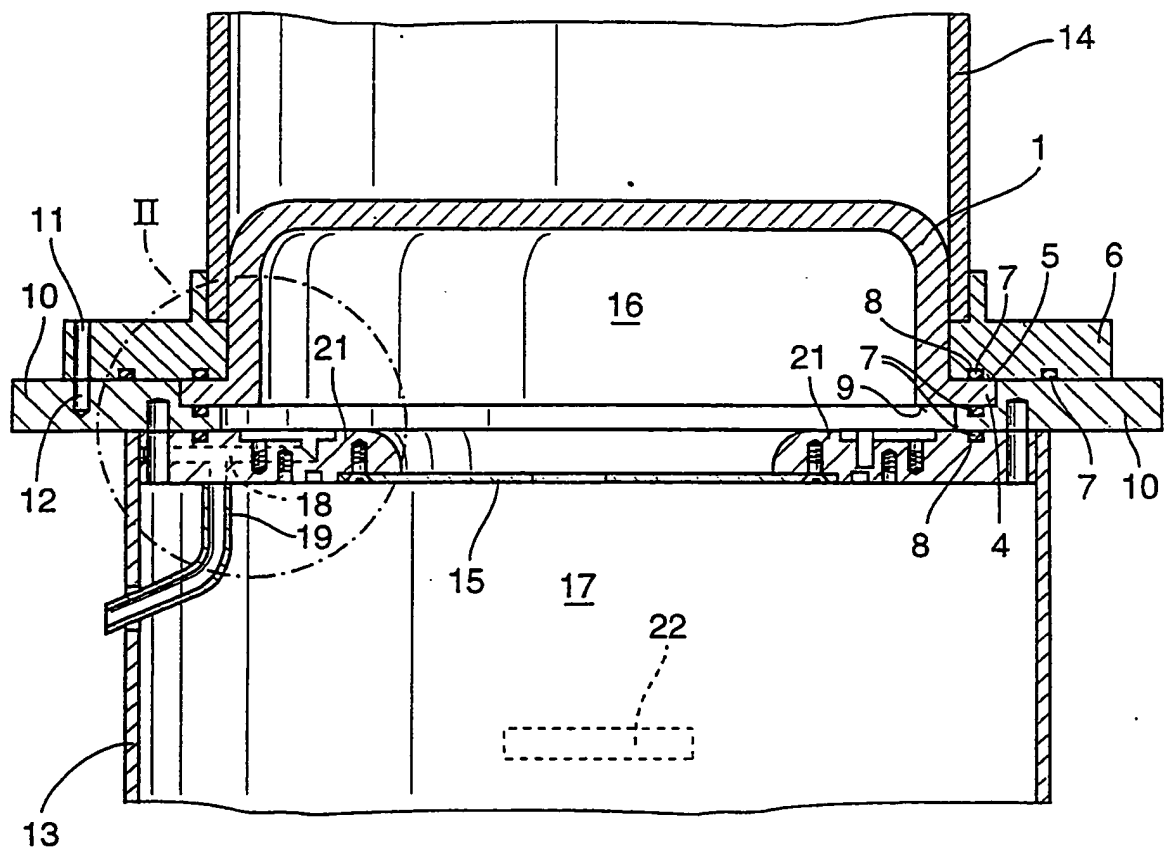


Fig. 2

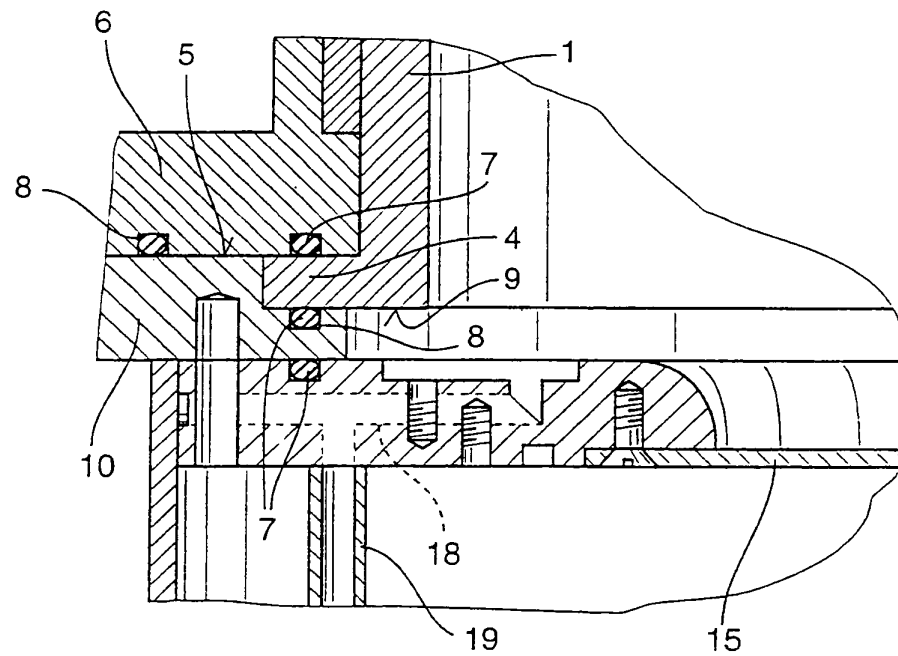


Fig. 3

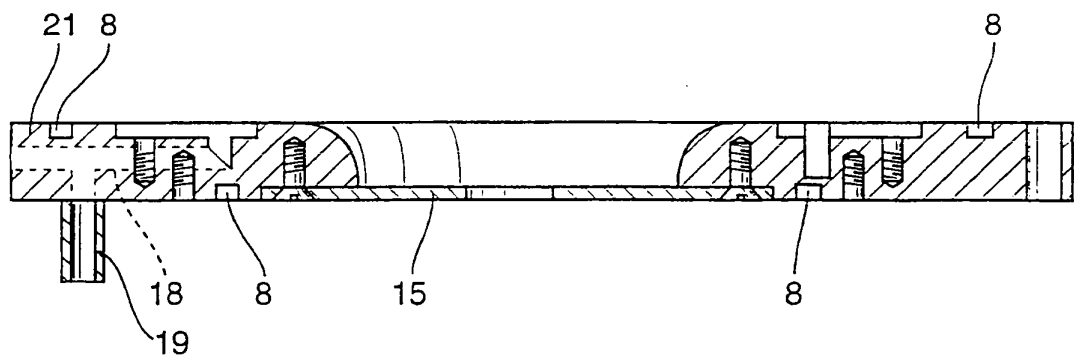


Fig. 4

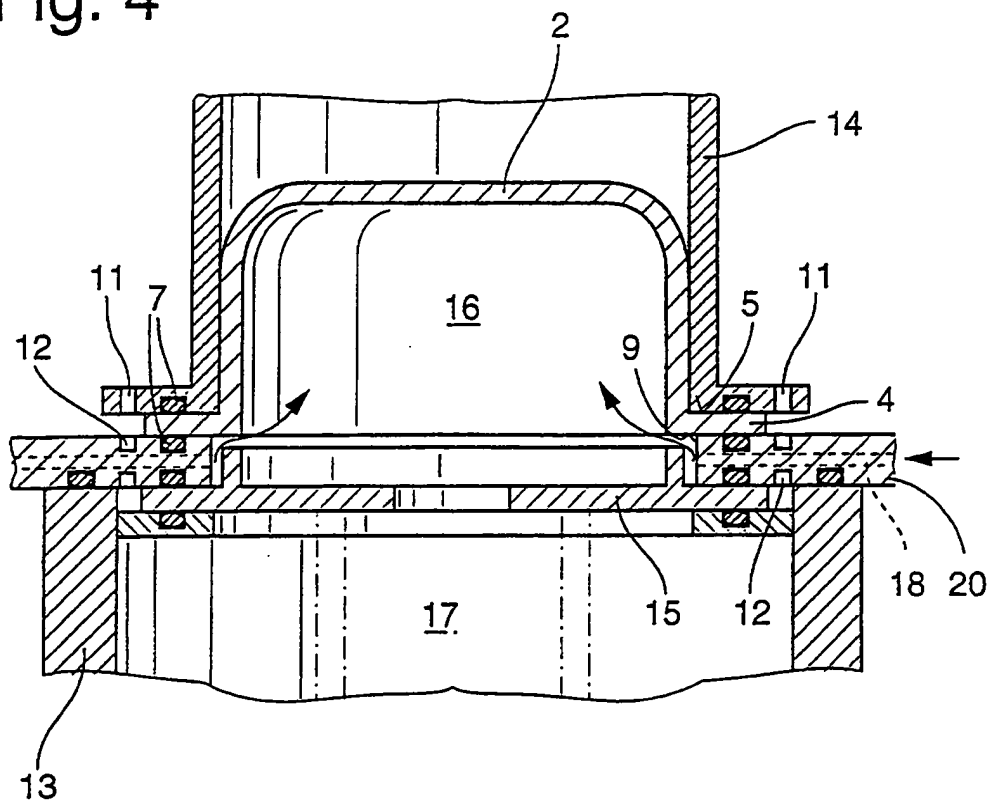


Fig. 5

